

# 船舶碰撞危险度的避碰决策模型

◎ 施建祥 大连海事大学

张笑嫣 交通运输部北海航海保障中心青岛航标处

► 摘要: 船舶碰撞危险度是影响船舶航行安全的重要参数,对船舶在航行中的避碰决策起着指导性的作用。船舶在会遇时,快速而且准确的计算出船舶碰撞危险度,是进行船舶间避碰决策的基础。然后,结合船舶碰撞危险度模型和避碰几何原理,建立船舶避碰决策模型,该模型能够为船舶驾驶员提供采取避碰行动的时机和转向幅度,以获得避碰行动的最优解。

► 关键词: 船舶 碰撞危险度 船舶避碰决策

DOI:10.14125/j.cnki.zjsy.2018.18.035

## 1. 船舶碰撞阶段的划分

如表1所示,船舶碰撞的四个阶段。

但是,有时候船舶间碰撞的过程并不一定会按照第一阶段到第四阶段的顺序发生。在特别的情况下,有可能会直接到第二、第三或者第四阶段。在各种阶段下,我们应该采取不同的避让方案,从而降低损失。因此,在建立船舶避碰决策的模型时,要全面考虑到这些特殊的情况,使避碰决策模型的模拟能够更加接近避碰时的实际情况。

## 2. 避碰几何原理

鉴于前人研究的基础之上,在避碰决策中,通过对船舶运动参数的计算,能够更加明确本船所处的状态,从而便于为采取的避让行动提供依据。

### 2.1 船舶相对运动参数的计算

如图1所示,设本船(O)的地理坐标为 $(x_0, y_0)$ 、速度为 $v_0$ 、航向为 $\varphi_0$ 。通过几何关系求得,本船船速在X轴和Y轴的分量如式(1)所示。

$$\begin{cases} v_{x0} = v_0 \sin \varphi_0 \\ v_{y0} = v_0 \cos \varphi_0 \end{cases} \quad (1)$$

设目标船(T)的地理坐标为 $(x_T, y_T)$ 、速度为 $v_T$ 、航向为 $\varphi_T$ 。通过几何关系求得,目标船船速在X轴和Y轴的分量如式(2)所示。

$$\begin{cases} v_{xT} = v_T \sin \varphi_T \\ v_{yT} = v_T \cos \varphi_T \end{cases} \quad (2)$$

由于他船的相对运动速度在X轴和Y轴分量可用式(3)表示。

$$\begin{cases} v_{xR} = v_{xT} - v_{x0} \\ v_{yR} = v_{yT} - v_{y0} \end{cases} \quad (3)$$

相对速度大小如式(4)所示。

$$v_R = \sqrt{v_{xR}^2 + v_{yR}^2} \quad (4)$$

相对速度方向如式(5)所示。

$$\varphi_R = a_0 - \tan^{-1} \frac{v_{yR}}{v_{xR}} \quad a_0 = \begin{cases} 90^\circ, v_{xR} \geq 0 \\ 270^\circ, v_{xR} \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

两船之间的距离如式(6)所示。

$$R_T = \sqrt{(x_T - x_0)^2 + (y_T - y_0)^2} \quad (6)$$

目标船(T)相对本船(O)的真方位如式(7)所示。

$$a_T = a_1 - \tan^{-1} \frac{y_T - y_0}{x_T - x_0} \quad (7)$$

其中,  $a_1$ 的确定取决于 $(x_T - x_0)$ 值的正负。

目标船(T)的相对方位如式(8)所示。

$$\theta'_T = a_T - \varphi_0 \pm 360^\circ$$

目标船(T)和本船(O)的航向交角如式(9)所示。

$$C_T = \varphi_T - \varphi_0 \quad (9)$$

目标船(T)和本船(O)的DCPA<sub>T</sub>如式(10)所示。

$$DCPA_T = R_T \times \sin(\varphi_R - \varphi_T - \pi) \quad (10)$$

目标船(T)和本船(O)的TCPA<sub>T</sub>如式(11)所示。

$$TCPA_T = R_T \times \cos(\varphi_R - \varphi_T - \pi) / v_R \quad (11)$$

### 2.2 改向对DCPA和TCPA的影响

改向是比较常用的避让方式。分析改向对DCPA和TCPA的影响,能够为避碰行动的采取提供较为有效的依据。

如图1所示,设改向幅度为 $\Delta\varphi$ ,本船(O)和目标船(T)的相对位置关系不变。则本船的速度如式(12)所示。

$$\begin{cases} v'_{x0} = v_0 \sin(\varphi_0 + \Delta\varphi) \\ v'_{y0} = v_0 \cos(\varphi_0 + \Delta\varphi) \end{cases} \quad (12)$$

改向后,两船间的相对运动速度的大小和方向,如式(13)所示。

$$\begin{cases} v'_{xR} = v_{xT} - v'_{x0} \\ v'_{yR} = v_{yT} - v'_{y0} \end{cases} \quad (13)$$

改向后,相对速度大小用式(14)表示。

$$v'_R = \sqrt{V'^2_{xR} + V'^2_{yR}} \quad (14)$$

改向后的相对速度的方向用式(15)表示。

表1 碰撞局面中的阶段划分

阶段	直航船的行动	让路船的行动	两船间的距离
远距离不存在碰撞危险	保持正规瞭望,自由采取行动。	保持正规瞭望,自由采取行动。	6-8海里以外
形成碰撞危险阶段	保持航向和航速。	应及早采取大幅度的行动。	3-6海里
形成紧迫局面阶段	应鸣放警告信号,可独自采取操纵行动。	应当立即采取大幅度的避碰行动。	2-3海里
形成紧迫危险局面阶段	应立即采取最有助于避碰的行动。	应立即采取最有助于避碰的行动。	小于2海里

$$\varphi'_R = a_0 - \tan^{-1} \frac{v'_{yR}}{v'_{xR}} \quad a_0 = \begin{cases} 90^\circ, v'_{xR} \geq 0 \\ 270^\circ, v'_{xR} \leq 0 \end{cases} \quad (15)$$

改向后的DCPA'用式(16)表示。

$$DCPA' = R_T \times \sin(\varphi'_R - \varphi_T - \pi) \quad (16)$$

改向后的用式(17)表示。

$$TCPA' = R_T \times \cos(\varphi'_R - \varphi_T - \pi) / v'_R \quad (17)$$

### 3.避碰时机及避碰行动幅度

规则中并没有给予避碰时机、避碰行动幅度以明确的标准,但是避碰时机、避碰行动幅度,对航行安全有很大影响。论文在前人的研究基础之上,对避碰时机、避碰行动幅度以定性的方法确定合适的标准。

#### 3.1避碰时机的确定

对于避碰时机的确定,首先要遵守“及早”的行动原则,它不仅体现在时间方面的及时性,也体现在距离方面的充足性。在总结前人研究的基础上,如表2所示,论文基于船舶碰撞危险度的,确定了避碰行动采取的时机。

#### 3.2船舶碰撞危险度

在《规则》中,未明确船舶碰撞危险度(CRI, Collision Risk Index)的定义。但是从“船舶碰撞危险”的含义这个角度,可以理解为船舶之间发生碰撞的可能性指的是“船舶碰撞危险”,也就是说“船舶碰撞危险度”是指船舶之间发生碰撞的可能性的,它是表示了避碰的难易程度。

船舶碰撞危险度的取值范围为0至1,如图2所示,是其随距离变化的曲线图。当CRI=0时,表示本船距离目标船较远,不存在碰撞危险,此时两船之间的距离称为注意距离;当CRI=1时,表示不论采取任何避碰行动,两船之间都会发生碰撞,此时来船与本船之间的距离称为碰撞距离;而行动距离,是指当CRI等于某一个规定的阈值时,比如0.4,船舶在此距离时应该采取避碰行动了。

#### 3.3避碰行动幅度的确定

规则中规定,为了避免碰撞而采取的避碰行动要满足“大幅度行动”这一标准。而大幅度行动的含义并不仅仅是包括让船间通过避碰行动能够互相安全通过,也包括了让

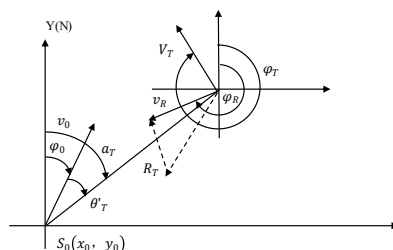


图1 船舶运动参数计算图

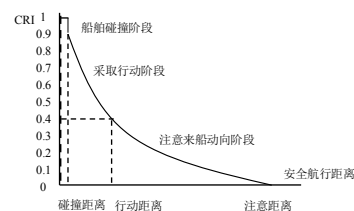


图2 船舶碰撞危险度曲线

来船能够观察到我船行动,以便于明白本船的意图和想要采取的行动。这也就是专家们总结出的适于避碰行动幅度的“大”和“宽”两个标准。

#### 3.4避碰行动的核查和复航时机的确定

避碰行动的核查的基本原则是“清”,即通过采取的避碰行动是否能够使两船间安全通过,达到驶过让清的目的。论文在建立船舶避碰决策模型时,以碰撞危险度(CRI)0.5为是否采取行动的基准。若CRI超过0.5,则需要采取避碰行动,若CRI小于0.5,则不需要采取避碰行动,正常瞭望,时刻注意来船即可。因此,避碰行动的核查也可以通过核查CRI是否降低至小于0.5来核查避碰行动的有效性。

### 4.避碰决策系统的模型

通过避碰几何原理计算TCPA和DCPA,在通过船舶碰撞危险度模型输出CRI。以CRI作为采取避碰行动的衡量标准,并根据会遇态势确定应采取的避碰行动以及准好特殊情况下的应急措施。如图3所示,为本文建立的船舶避碰系统决策模型。

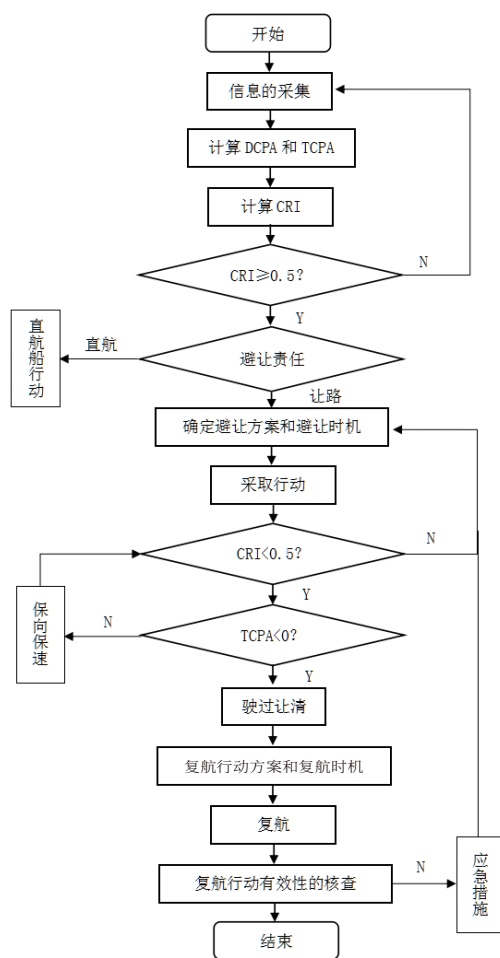


图3 避碰决策系统模型

整个模型运行过程如图3所示。

总体来讲,避碰决策系统的模型包括了信息的采集、信息的处理、船舶碰撞危险度的确定、采取避让行动、复航、结果检测、应急预案等几个方面,能够较全面的符合航行要求或较为全面的模拟海上实际情况,为航行安全保驾护航。[1]